

25X1

Page Denied

Next 1 Page(s) In Document Denied

ЧЛЕН КОРР. АН СССР И. А. ОДИНГ, В. С. ИВАНОВА

ОБОБЩЕННАЯ ДИАГРАММА КРИТЕРИЕВ ПОЛЗУЧЕСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ НАПРЯЖЕНИЕМ, СКОРОСТЬЮ ПОЛЗУЧЕСТИ И СРОКОМ СЛУЖБЫ МЕТАЛЛА

В работах [1, 2, 3] была проанализирована взаимосвязь между критериями ползучести (пределами длительной прочности и ползучести) и предложен новый критерий — ресурс пластичности, величина которого в зависимости от срока службы может быть установлена из обобщенной диаграммы критериев ползучести. При построении обобщенной диаграммы ползучести и при выводе зависимости ресурса пластичности от срока службы использовались степенные зависимости между скоростью ползучести, напряжением и сроком службы, выражаемые в виде

$$v = P\sigma^p, \quad (1)$$

$$\tau_{\text{сл}} = D\sigma^{-d}, \quad (2)$$

где v — скорость ползучести; σ — напряжение; $\tau_{\text{сл}}$ — срок службы металла; P, p, D и d — постоянные.

Однако, как было показано в работе [2], а также автором И. Ивановой, указанные зависимости не всегда согласуются с экспериментальными данными, и физической природе ползучести точнее отвечают уравнения вида

$$v = Csh\alpha'\sigma, \quad (3)$$

$$\tau_{\text{сл}} = \frac{D}{sh\beta'\sigma}, \quad (4)$$

где C, D, α и β — постоянные.

Уравнения (3) и (4) при $\alpha'\sigma \gg 1,5$ и $\beta'\sigma \gg 1,5$ с достаточной для практики точностью могут быть заменены экспоненциальными зависимостями

$$v = Ae^{\alpha'\sigma}, \quad (5)$$

$$\tau_{\text{сл}} = Be^{-\beta'\sigma}, \quad (6)$$

где

$$A = \frac{C}{2}, \quad B = \frac{D}{2}.$$

обратимся еще раз к анализу уравнений (2) и (5).

При построении экспериментальных данных зависимости между напряжением и сроком службы в логарифмических координатах согласно (2) получается прямая линия, которая при длительных сроках службы может иметь несколько переломов. Это обстоятельство чрезвычайно затрудняет экстраполяцию экспериментальных данных на большие сроки службы металлов порядка 10 000 или 100 000 часов по данным испытаниям длительностью 3000 часов, ибо некоторые металлы выявляют перелом лишь 5000 часов и более.

При использовании зависимости (6) экспериментальные данные хорошо укладываются на прямую при построении зависимости между напряжением и сроком службы в полулогарифмических координатах, причем даже при длительности испытания в 20—30 тысяч часов не наблюдается отклонений экспериментальных данных от уравнения (6).

Производя экстраполяцию экспериментальных данных по уравнению (6), нет надобности проводить эксперименты большой длительности — порядка 10 000 часов и более. В этом случае возможно ограничить длительность испытания 2000—3000 часами и менее с надежной экстраполяцией более длительные сроки службы.

Отклонения экспериментальных данных от уравнения (6) иногда наблюдаются. Но это имеет место лишь в том случае, когда разрушение разряда сопровождается большой пластичностью. При этом истинные напряжения по мере роста пластической деформации будут все время уменьшаться, а фактически эксперимент будет происходить не при постоянном, а при переменном, увеличивающемся во времени напряжении. Например, образец, разорвавшийся с уменьшением поперечного сечения на 25—30%, увеличит действующее напряжение к моменту разрыва на 30—40% от первоначального, т. е. на весьма заметную величину.

В этом случае время до разрушения нельзя сопоставлять с временем до разрушения второго образца, разрушившегося с меньшей пластичностью, например, порядка $\phi = 3—5\%$, ибо здесь действующее напряжение к моменту разрыва увеличивается всего лишь на 3—5%.

Условия опыта, а следовательно, и процесса разрушения в обоих случаях будут разными, а при построении зависимости времени до разрушения от напряжения следует сопоставлять лишь те пределы длительной прочности, установленные при различных сроках службы, которым соответствует пластичность по величине одного порядка.

Для того чтобы показать, насколько велики могут быть ошибки в установлении предела длительной прочности для больших сроков службы при использовании уравнения (2), приведем несколько примеров.

На рис. 1 приведены данные испытания на длительную прочность хром-никелевой стали двух марок при температуре 500° С при нанесении экспериментальных данных на логарифмическую (график а) и полулогарифмическую (график б) сетки. Как видно из графика а, отклонение экспериментальных данных от прямолинейной зависимости у этих сталей наступает при длительности испытания более 6000 часов. На нижнем графике б экспериментальные точки укладываются на прямую линию.

Если бы испытания были ограничены длительностью в 5000 часов, то при градоляции экспериментальных данных по уравнению (2) предел длительности для 100 000 часов был бы установлен равным 27 кг/мм² для стали с 0,1% С и 13 кг/мм² для стали с 0,15% С. Однако истинный предел длительной прочности для 100 000 часов при этом значительно меньше, именно для первой стали он равен 17 кг/мм², а для второй — 8 кг/мм². Эти более точные значения предела длительной прочности получаются

как при экстраполяции экспериментальных данных с использованием уравнения (6), так и при экстраполяции экспериментальных данных уравнению (2), полученных при длительности испытания более 50 часов.

Аналогичное явление наблюдается и на других сталях (рис. 2 и 3). Здесь также можно видеть, насколько хорошо ложатся экспериментальные данные на прямую, построенную в полулогарифмических координатах.

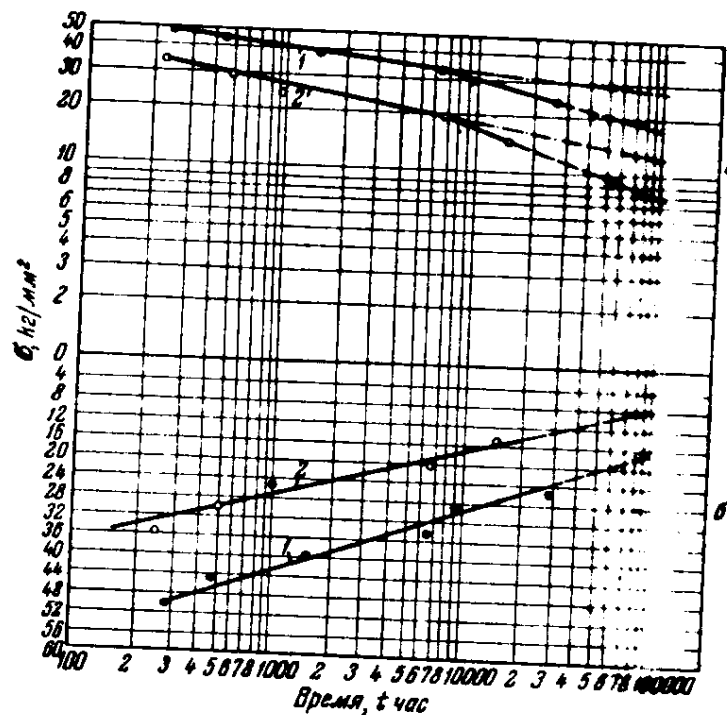


Рис. 1. Зависимость между напряжением и сроком службы в логарифмических (а) и полулогарифмических (б) координатах при температуре 500° [4]:

1 — для стали с содержанием: 0,21% С, 0,37% Si, 0,60% Mn, 0,01% P, 0,015% S, 0,76% Cr, 0,56% Mo, 0,16% V; 2 — для стали с содержанием: 0,21% С, 0,34% Si, 0,71% Mn, 0,027% P, 0,022% S, 0,75% Cr, 0,42% Mo.

тах, и насколько ошибочно можно установить пределы длительной прочности при экстраполяции данных по прямой, построенной в логарифмических координатах, если длительность испытания не будет превышать 10 000 часов.

Эти примеры наглядно указывают на возможность сокращения срока испытания на длительную прочность с 10 000 до 2000—3000 часов и менее, если производить экстраполяцию по уравнению (6).

Итак, приведенный выше анализ экспериментальных данных, равно как и анализ, проведенный в работе [2] и др., показывает, что для получения надежных данных по пределам длительной прочности и по пределу ползучести целесообразно применять зависимости между напряжением, скоростью ползучести и сроком службы, выражаемые уравнениями (6) и (5).

используя уравнения (5) и (6), можно получить зависимость ресурса пластичности ϵ_r от срока службы металла, применяя соотношение

$$\epsilon_r = v \cdot \tau_{\text{сл}} \quad (7)$$

из уравнений (5) и (6) легко получить

$$v = A e^{\frac{\alpha}{\beta} (\ln B - \ln \tau_{\text{сл}})}$$

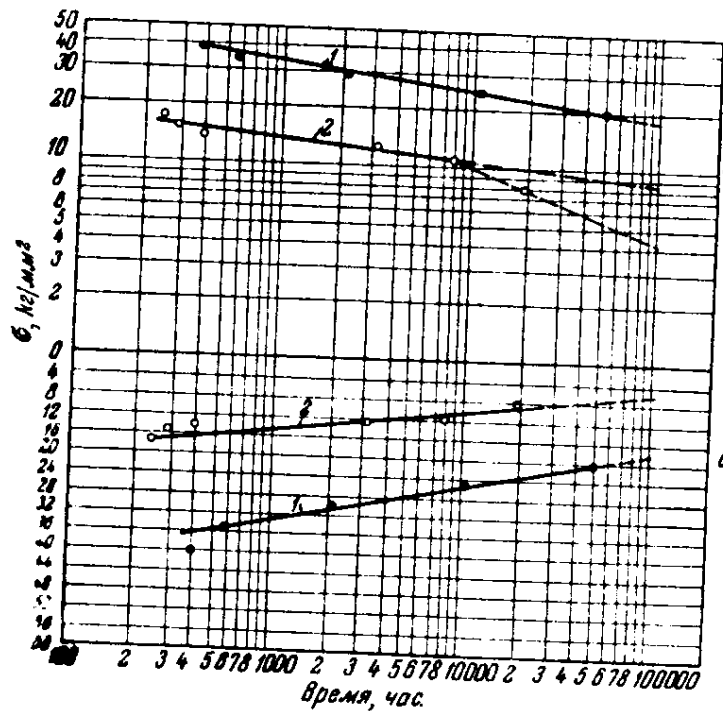


Рис. 2 Зависимость между напряжением и сроком службы в логарифмических (а) и полулогарифмических (б) координатах:
1 — при температуре 500° для стали [6] с содержанием: 1,61% Cr, 0,2% Ni, 1,28% Mn, 0,1% V; 2 — при температуре 813° для стали [6] с содержанием: 40% Cr, 1,01% Mn, 20,6% Cr, 19,6% Ni, 43,9% Co, 4,0% Mo, 3,7% W, 3,9% Nb, 2,54% Fe

да, используя уравнение (7), ресурс пластичности в зависимости от срока службы металла может быть выражен в виде

$$\epsilon_r = A \tau_{\text{сл}} e^{\frac{\alpha}{\beta} (\ln B - \ln \tau_{\text{сл}})} \quad (8)$$

$$\ln \epsilon_r = \left(1 - \frac{\alpha}{\beta}\right) \ln \tau_{\text{сл}} + \text{const}, \quad (9)$$

$$\text{const} = \ln A + \frac{\alpha}{\beta} \ln B.$$

Из уравнения (9) следует, что ресурс пластичности с ростом срока службы:

- 1) возрастает при $\alpha < \beta$,
- 2) уменьшается при $\alpha > \beta$,
- 3) остается постоянным при $\alpha = \beta$.

Следовательно, ресурс пластичности в зависимости от срока службы определяется в основном величинами критерия ползучести α и критерия длительной прочности β .

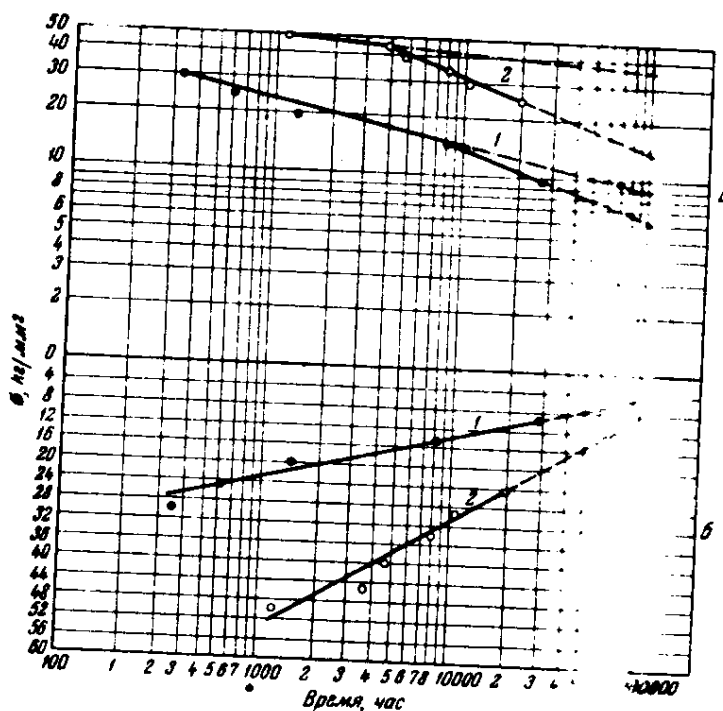


Рис. 3. Зависимость между напряжением и сроком службы металла в логарифмических (а) и полулогарифмических (б) координатах при температуре 500° [4]:

1 — для стали с содержанием: 0,22% С, 0,38% Si, 0,6% Mn, 0,027% P, 0,023% S, 0,13% Cr, 0,30% Mo; 2 — для стали с содержанием: 0,17% С, 0,37% Si, 0,26% Mn, 0,014% P, 0,012% S, 1,09% Cr, 0,65% V.

Используя уравнения (5), (6) и (9), обобщенную диаграмму критериев ползучести удобно представить так, как показано на рис. 4. В правом верхнем квадранте строится зависимость между скоростью ползучести и напряжением по уравнению (5), в левом верхнем квадранте строится зависимость между напряжением и сроком службы по уравнению (6) (в обоих случаях в полулогарифмических координатах) и, наконец, в нижнем левом квадранте строится зависимость между ресурсом пластичности и сроком службы металла согласно уравнению (9) в логарифмических координатах.

Рассмотрим эти обобщенные диаграммы несколько подробнее. На рис. 4 представлена такая диаграмма для хромоникельмолибденованадиевой стали, содержащей 0,44% углерода. Эта сталь обладает весьма высокой

рока

длительной прочностью при относительно малой сопротивляемости ползучести, что приводит к большой величине ресурса пластичности. Для температуры 510° ресурс пластичности увеличивается с увеличением времени службы и приобретает величину в несколько десятков процентов при превышении времени службы 20 000 часов. Это обстоятельство свидетельствует, что экстраполяция пределов длительной прочности на время службы, превышающее 10 000 часов, для этой стали даже при полулогарифмическом графике неверна, ибо большая пластичность вызовет значительное понижение напряжения в процессе испытания из-за уменьшения площади поперечного сечения образца. Следовательно, в этом случае нельзя ограничиваться временем испытания в 1000 часов — его нужно продлить. Об

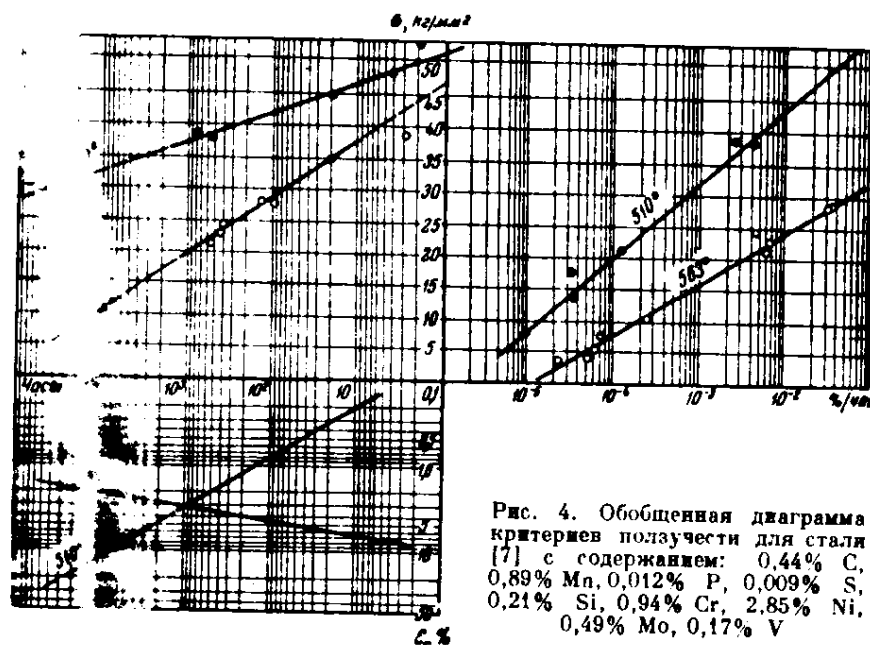
жбы
ри-

Рис. 4. Обобщенная диаграмма критериев ползучести для стали [7] с содержанием: 0,44% C, 0,89% Mn, 0,012% P, 0,009% S, 0,21% Si, 0,94% Cr, 2,85% Ni, 0,49% Mo, 0,17% V

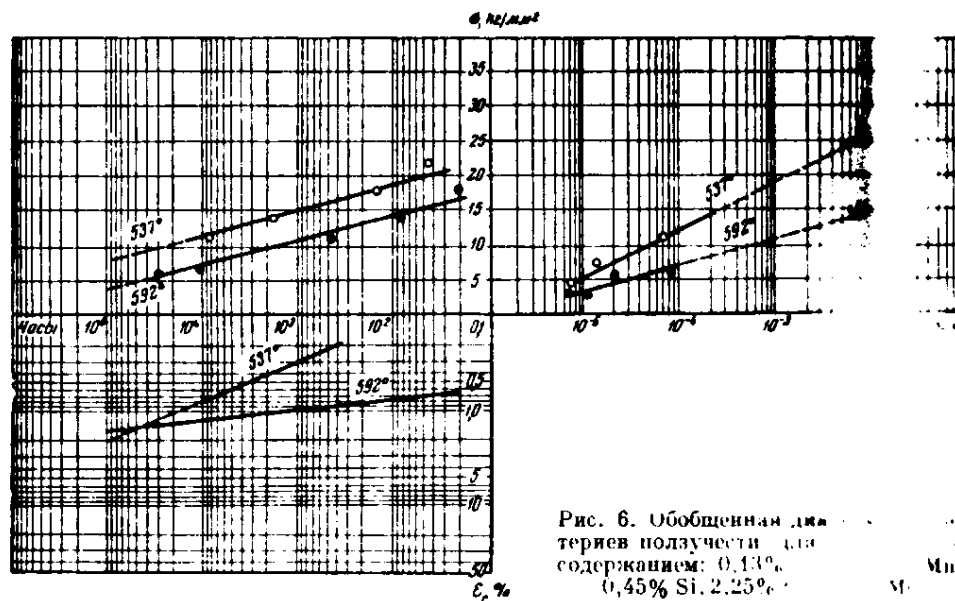
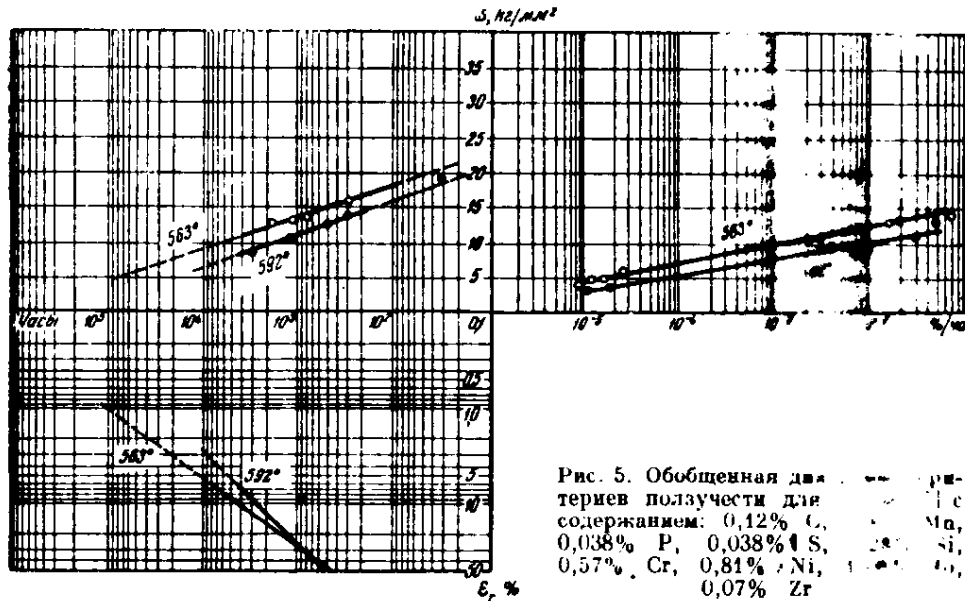
ом сгибает ресурс пластичности, и в этом заключается одно из положительных значений.

При температуре 563° ресурс пластичности уменьшается с увеличением длительности испытания. Если длительная прочность этой стали остается высокой до 1000 часов службы, то сопротивляемость ползучести резко падает. Рассмотрение всех трех критериев позволяет прийти к выводу, что сталь указанной марки вряд ли сможет найти применение в энергетическом машиностроении.

Обращаясь к рис. 5, на котором изображена обобщенная диаграмма критериев ползучести для котельной хромоникельмолибденовой стали марки 0,07% Zr, видим, что эта сталь также не может найти применение в длительной службе при температуре 563° . При 100 000 часов испытания ресурс пластичности равен всего лишь 1%, хотя пределы длительной прочности и ползучести равны $4,5 \text{ кг/мм}^2$, т. е. по своей величине могли бы удовлетворить конструкторов.

Котельная же хромомолибденовая сталь, критерии ползучести для которой приведены в обобщенной диаграмме на рис. 6, может быть приме-

нена для работы при температуре 537° и несколько выше, так как при 100 000 часов ее длительная прочность равна 8 кг/мм², а предел ползучести при скорости ползучести 10⁻⁵%/час равен 5 кг/мм² при ресурсе пластич-



ности, увеличивающемся с увеличением срока службы на 1,0% при 100 000 часов.

Эти примеры свидетельствуют о необходимости оценивать надежность стали не только по пределам длительной прочности и ползучести, но и по ресурсу пластичности. Они также показывают необходимость использования обобщенной диаграммы критериев ползучести.

ри
е-
ч-

Выводы

Наиболее точное значение пределов длительной прочности для длительных сроков службы устанавливается путем экстраполяции экспериментальных данных по уравнению (6).

При оценке жаропрочности металлов необходимо руководствоваться не только пределами длительной прочности и ползучести, но и пределом пластичности, используя обобщенную диаграмму критериев ползучести.

ЛИТЕРАТУРА

- Иванова. «Зав. лабор.», № 2 (1955).
А. Одниг и В. С. Иванова. «Теплоэнергетика», № 1 (1955).
А. Одниг и В. С. Иванова. «Вестник машиностроения», № 5 (1955).
Heis. Stahl und Eisen, 71, 7 (1951).
Грум и К. Richard. Archiv für das Eisenhüttenwesen. 20, N 7—8 (1949).
J. Grant и A. G. Bucklin. Trans. amer. soc. f. metals, 42 (1950).
Report on the elevated temperature properties of chromium-molybdenum steels. American society for testing materials (1953).